

doi:10.6053/j.issn.1001-1412.2021.02.001

华北地区铜矿资源特征及成矿规律研究

唐文龙^{1,2}, 李俊建^{1,2}, 彭翼³, 宋立军⁴, 侯占国⁵, 张彤⁶

(1. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;

2. 华北地质科技创新中心, 天津 300170;

3. 河南省地质调查院, 郑州 450007;

4. 河北省地质调查院, 石家庄 050081;

5. 山西省地质调查院, 太原 030006;

6. 内蒙古自治区地质调查院, 呼和浩特 010020)

摘要: 华北地区铜矿资源丰富, 文章在对华北地区 579 处铜矿床(点)资料系统梳理的基础上, 总结了区内矿床类型, 划分出四大成矿期, 认为侏罗纪—白垩纪为最主要的成矿时期, 以斑岩型、接触交代型为主; 提出不同类型铜矿时空分布特征及控矿因素; 建立了 7 种预测类型划分方案、6 种预测方法。探讨了华北地区铜矿的时空演化, 认为在重要成矿带和典型矿床开展深部资源勘查是实现找矿突破的重要途径。

关键词: 铜矿; 资源特征; 矿床类型; 成矿规律; 资源潜力; 华北地区

中图分类号: P618.41; P612 **文献标识码:** A

0 引言

作为人类最早发现和应用的金属之一, 铜及其合金以良好的导电性、导热性、抗腐蚀性、抗拉性和高疲劳强度, 被广泛应用于电力、家电、机械、交通、建筑等诸多领域, 成为仅次于铁、铝的重要的金属材料, 在经济发展的各个领域都占据着不可替代的位置, 被我国列为国家战略性矿产资源^[1]。随着科技进步和经济的飞速发展, 国内铜矿资源供应严重不足, 对外依存度不断攀升。因此, 总结铜矿成矿规律, 摸清铜矿资源潜力, 提高铜矿勘查力度, 争取更大的找矿突破对我国铜矿的可持续发展具有重要意义。

华北地区行政位置包括河南省、河北省、山东省、山西省、天津市、北京市和内蒙古自治区, 大地构造

位置是以华北克拉通为中心, 南、西相邻接秦祁昆造山系, 北接天山—兴蒙造山系和塔里木克拉通, 东部面对黄海海盆, 共涉及 5 大 I 级构造单元, 先后经历了陆核形成、二次克拉通化事件、扬子陆块与华北陆块碰撞造山事件、古亚洲洋俯冲闭合事件以及古太平洋板块斜向俯冲欧亚板块事件等, 发育了丰富的铜矿资源^[2-9], 形成了以中条裂谷铜矿带、狼山—渣尔泰裂谷铜矿带、燕辽裂谷铜矿带、二连—东乌旗弧盆铜矿带和二郎坪弧盆铜矿带为代表的系列铜矿资源基地。近年来, 一系列大中型铜矿床的发现^[10-13], 为华北地区铜矿勘查注入了新的活力, 对全区铜矿床成矿特征、控矿要素、区域成矿规律等进行梳理与总结提出了新的要求。本文基于中国地质调查局地调项目和国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项课题研究, 初步对华北地区铜矿资源特征进行了梳理, 对全区铜矿成矿规律进行了归纳总结, 以期为该地区铜矿进一步勘查部署提供依据。

收稿日期: 2021-01-18; 改回日期: 2021-03-23; 责任编辑: 王传泰

基金项目: 中国地质调查局项目(编号: DD20190379-31、1212011121029、200110200038)和国家重点研发计划“深地资源勘查开采”重点专项课题(编号: 2016YFC0600107、2018YFC0603805-1)联合资助

作者简介: 唐文龙(1979—), 男, 高级工程师, 主要从事矿产勘查和成矿作用研究工作。E-mail: twl011562@126.com

通信作者: 李俊建(1962—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事区域成矿学研究和矿产勘查工作。E-mail: tljunjian@163.com

1 铜矿资源特征

截止到2016年,华北地区探明铜矿资源总量为 $1284 \times 10^4 \text{ t}^{[14]}$,共发现铜矿床(点)579个(图1)。其中,内蒙古已发现铜矿床(点)207处,探明资源储量位居全国第十位;山西省、河南省铜矿主要产出中条山、灵丘、卢氏等地;河南省已发现矿床(点)111处;山西省已发现矿床(点)143处;河北省铜矿已发现矿床(点)29处;山东省铜矿资源不多,已发现矿床81处,以中小型为主^[15];北京市铜矿分布零散,发现矿床(点)8处;天津市无成型矿床产出。相较于2015年华北地区铜矿资源储量而言,2016年全区铜矿资源储量呈上升趋势,显示了良好找矿潜力(图2)。

虽然近年来华北地区铜矿资源储量呈上升趋势,并新发现了一批如内蒙锡林浩特扎拉格阿木铜矿、乌拉特后旗阿拉其图东铜矿,河北省涞源县木吉

村铜矿,河南省内乡板场铜矿,山东省香乔铜矿等大中型矿床,但普遍存在找矿难度大、品位偏低、开采条件差等不利因素,深部资源勘查成为找矿突破的一个重要窗口。

2 铜矿床类型及特征

2.1 铜矿床成因类型及特征

华北地区铜矿分布广泛,类型较多,主要有斑岩型、接触交代型、岩浆型、热液型、火山沉积及沉积变质型等类型^①。其中以斑岩型、矽卡岩型、火山沉积型和热液型为主。斑岩型铜矿床主要分布在内蒙古、山西、河南、山东、北京等地;矽卡岩型铜矿床主要分布在河北、内蒙古、山西、河南、山东、北京等地;火山沉积型铜矿床主要分布在内蒙古、河南和山西;热液型铜矿床主要分布在内蒙古、山东等地;岩浆型及沉积变质型铜矿床主要分布在内蒙古、山西、河南等地。

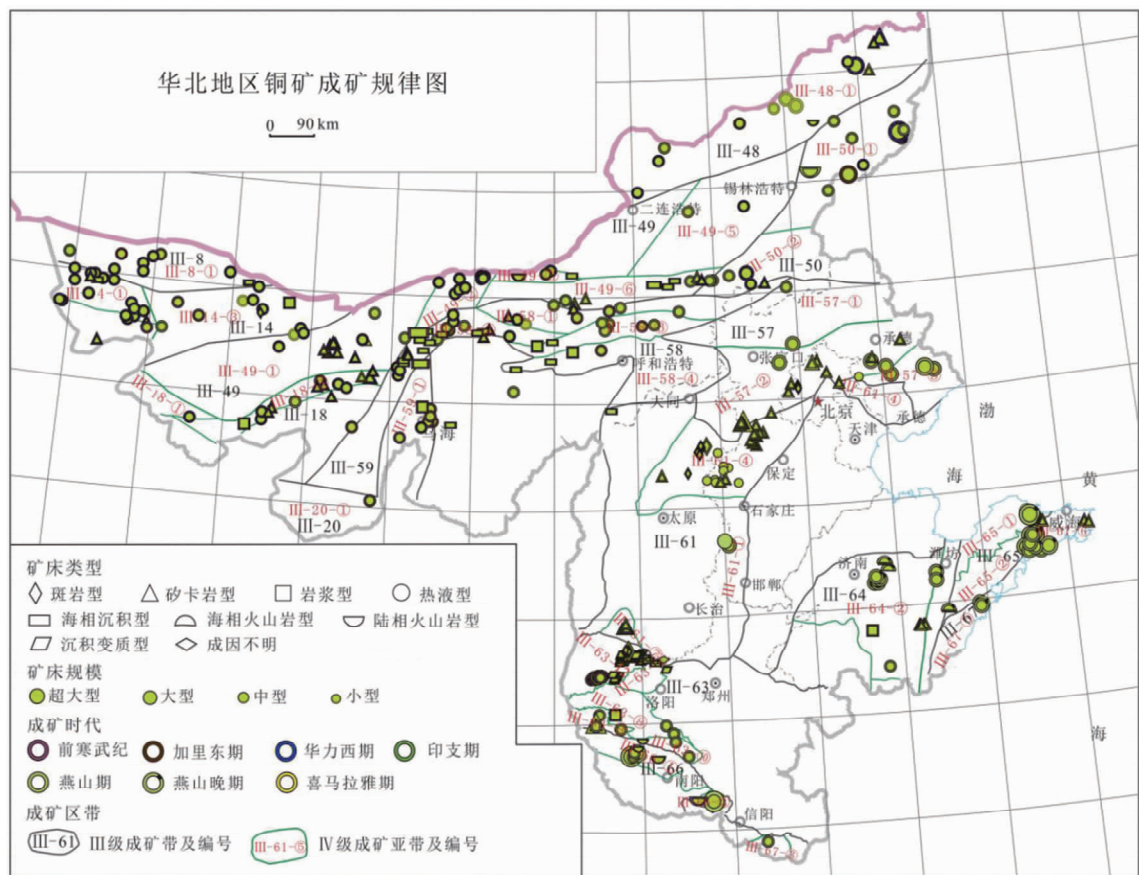


图1 华北地区铜矿成矿规律图^{①-③}

Fig.1 Sketch showing metallogenic law of copper deposits in the North China

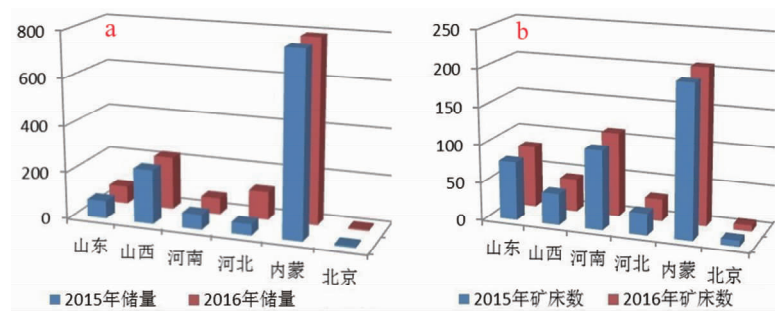


图 2 华北地区各省份铜矿储量及矿床数

Fig. 2 Copper reserves and copper deposit number of each provinces in the North China

a. 储量/ 10^4 t; b. 矿床数/个

(1) 斑岩型铜矿床

斑岩型铜矿床是产于斑岩中及其内外接触带附近的细脉浸染型铜矿床,常具有品位低、规模大、易开采的特点。研究区内该类型矿床分布于构造活动强烈地带,赋矿岩体为钙碱性系列侵入岩,以陆缘岛弧环境为主,以中酸性浅成-超浅成侵入作用为主,并有接触交代和岩浆热液作用。代表性矿床有山西铜峪特大型铜钼金矿床,内蒙古乌努格吐山铜钼矿床、敖瑙达巴铜锡矿床、车户沟铜钼矿床和山东五莲七宝山铜矿床等。

(2) 接触交代型铜矿床

接触交代型铜矿床是指侵入岩与围岩在接触带及其附近,由含矿气水热液与围岩进行充填交代作用形成铜矿床。华北地区接触交代型铜矿是重要的成矿类型,全区共有该类型矿产地 28 处,其中大型 1 处、中型 3 处、小型 24 处、矿点 34 处;其成矿时代以华力西期和燕山期为主,一般经历接触交代阶段、矽卡岩阶段、硫化物阶段和表生阶段等 4 个成矿阶段。代表性矿床有河南镇平秋树湾中型斑岩-接触交代型铜钼矿、山西刁泉中型伴生铜矿和山东铜井铜矿等。

(3) 沉积变质型铜矿床

该类型矿床是在原生地层中某些元素含量较高的基础上,由后期变质热液活化、萃取、迁移、富集并在有利空间内沉淀富集而形成的矿床。华北地区该类型矿产地有 30 处,其中大型 1 处、中型 4 处、小型 25 处、矿点 58 处;其成矿时代主要为中-新元古代,往往由早期的海相沉积岩经变质形成铜矿,主要产于断裂构造发育,岩浆活动频繁地区,以中条山胡篦式沉积变质型铜矿床为典型代表。

(4) 岩浆型铜矿床

岩浆型铜矿床是指在较高温度下的一种均匀的岩浆熔体,当温度和压力下降时,分离成两种或两种以上不混熔的熔体而生成的铜矿床。研究区内该类型矿床主要分布于板块结合带,与基性-超基性岩体关系密切,规模相对较小,矿体多产在角闪辉长岩、辉长岩体内,并受其严格控制,全区共有该类型矿产地 3 处,其中小型 3 处、矿点 7 处;其形成时代主要为元古代和古生代。典型矿床有山西运城县桃花洞铜矿床、内蒙古小南山铜镍矿床、亚干铜镍钴矿床、山东泗水北孙徐铜镍矿床等。

(5) 热液型铜矿床

该类型矿床是指岩浆结晶分异过程中产生的热水溶液,充填在内外接触带及围岩的原生构造内而形成的矿床。研究区内该类型矿床产出相对较少,主要分布于滨太平洋成矿域内;其成矿时代主要集中于侏罗纪-白垩纪,为中生代燕山晚期岩浆期后热液对围岩进行选择性交代作用所形成的铜矿床。铜矿化主要发育在不纯质大理岩、变粒岩和片岩中。代表性矿床有内蒙古布敦花铜矿床和山东福山王家庄铜矿床等。

(6) 火山沉积型铜矿床

火山沉积型铜矿床,即 Sedex 型铜矿床。研究区内该类型矿产地 28 处,其中超大型 1 处、中型 5 处、小型 5 处、矿点 17 处;该类矿床在形成时间、空间上与地槽早期发育的海底火山岩系有关,含矿建造由凝灰岩、火山角砾岩、粗玄岩等中基性火山岩组成,该套火山岩铜的丰度较高,一般高出同类岩石的数倍,其中基性火山岩和粗粒级的火山碎屑中铜相对富集。典型矿床有河南刘山岩铜锌矿床、内蒙古白乃庙铜钼矿床、小坝梁铜矿床。

2.2 铜矿床预测类型

矿产预测类型是从成矿预测和矿产资源潜力评价的角度对矿产资源进行分类的一种方法,具有区域性但也兼顾典型矿床的一般性成矿规律,其理论基础就是成矿系列理论的矿床式^[16]。依据铜矿预测类型划分原则^[16-18]和已发现矿床成矿类型,主要预测类型可分为热液交代型、斑岩型、矽卡岩型、岩浆熔离型、热液型、沉积变质型及热液喷流沉积型^①(表1)。预测方法主要有复合“内生”型、火山岩型、侵入岩体型、沉积型、层控“内生”型、变质型等^①。

3 铜矿时空分布规律

3.1 成矿时代分布规律

华北地区铜矿床成矿时代可分为4期:新太古代—古元古代、中—新元古代、石炭—二叠纪和侏罗纪—白垩纪。新太古代—古元古代铜矿床主要为铜矿峪式斑岩型铜矿和胡篦式沉积变质型铜矿;中—新元古代铜矿主要为与超基性岩有关的铜镍硫化物型;石炭纪—二叠纪铜矿主要分布在内蒙古,矿床类型主要为接触交代型、热液型和火山沉积型。侏罗纪—白垩纪为该区最主要的成矿时期,华北地区的主要斑岩型和接触交代型铜矿床大多形成于该期。

3.2 空间分布规律

受大地构造演化背景的控制,不同类型、不同时代矿床分布的区域多有不同。海底喷流沉积—改造型铜矿床主要形成于裂谷构造环境,包括新古元古

表1 华北地区铜矿矿产预测类型

Table 1 Schedule of Prediction types of copper deposit in the North China

矿种/组	矿产预测方法类型	矿产预测类型	构造时段
铜矿	复合“内生”型	福山王家庄式似层状热液交代型	Mz
铜矿	侵入岩体型	铜井式矽卡岩-斑岩型	Mz
铜矿	火山岩型	五莲七宝山式次火山-斑岩型	Mz
铜矿	侵入岩体型	桃科式岩浆熔离型	Ar ₃
铜矿	侵入岩体型	铜井式矽卡岩-斑岩型	Mz
铜矿	火山岩型	奥尤特式次火山热液型	J ₃
铜矿	火山岩型	小坝梁式火山岩型铜矿	P
铜矿	侵入岩体型	敖瑙达巴式斑岩型铜矿	Mz
铜矿	复合“内生”型	道伦达坝式热液铜矿床	Mz
铜矿	沉积型	查干哈达庙式块状硫化	P
铜矿	侵入岩体型	珠斯楞式斑岩型铜矿床	Pt ₃
铜矿	侵入岩体型	亚干式岩浆型铜镍钴矿	Pt ₃
铜矿	复合“内生”型	宫胡洞式接触交代型铜	Mz
铜矿	复合“内生”型	欧布拉格式热液型铜矿	Mz
铜矿	侵入岩体型	小南山式岩浆型铜镍矿	P
铜矿	复合“内生”型	盖沙图式矽卡岩型铜矿	P
铜矿	沉积型	查干哈达庙式块状硫化	C
铜矿	沉积型	霍各乞式喷流沉积铜矿	Pt
铜矿-铅锌矿	层控“内生”型	沙沟式层控热液型铅锌矿	Mz
铜矿	变质型	小沟式火山-沉积变质型铜矿、胡篦式火山-沉积变质型铜矿	Mz
铜矿-铅锌银矿	火山岩型	上庄坪式、水洞岭式海相火山岩型多金属矿	Mz
铜矿-钼矿	复合“内生”型	秋树湾式斑岩-矽卡岩型铜钼矿	Mz
铜矿	复合“内生”型	寿王坟式矽卡岩型	J ₁
铜矿	复合“内生”型	木吉村(浮图峪)式斑岩	J ₁
铜矿-钼矿-铅锌矿	侵入岩体型	寿王坟式接触交代型铜矿	J ₂
铜矿-钼矿	侵入岩体型	小寺沟式斑岩型铜矿	J ₂
铜矿	侵入岩体型	铜矿峪式变斑岩型	Pt ₁
铜矿	侵入岩体型	刁泉式矽卡岩型	K
铜矿	变质型	胡篦式沉积变质型	Pt ₁
钼矿	侵入岩体型	南泥湖式斑岩型	J-K
铜矿	侵入岩体型	刁泉式矽卡岩型	J-K
铜矿	复合“内生”型	与变基性岩有关的铜矿	Pt ₁

代中条裂谷、中元古代狼山—渣尔泰裂谷和燕辽裂谷。产于中条裂谷的矿床有山西篦子沟、胡家峪铜矿床,产于狼山—渣尔泰裂谷的矿床有内蒙古的霍各乞铜矿等。斑岩型、热液型和接触交代型铜矿主要受构造-岩浆岩活动带控制,如山西铜矿峪铜矿为古元古代岩浆岩控制;河北、北京、天津斑岩型和热液型铜钼矿受京津地区中生代岩浆岩带控制;内蒙古的斑岩型铜矿受大兴安岭地区中生代中酸性岩浆岩带控制,热液型和接触交代型铜矿与泥盆纪—二叠纪岩浆活动带密切相关。与海相火山岩密切相关的块状硫化物铜矿的形成与海底火山喷溢、火山气液和火山沉积作用有关,其构造环境为弧盆环境,主要分布在内蒙古、河南。内蒙古该类铜矿主要分布在天山—兴蒙造山系中的温都尔庙弧盆系和大兴安岭弧盆系,代表性矿床为白乃庙铜矿和小坝梁铜金矿;河南省该类铜矿主要分布在二郎坪弧后盆地中,代表性矿床为刘山岩铜锌矿。不同类型矿床分布特征如表 2 所示。

3.3 主要铜矿床类型特征及控矿因素

(1)斑岩型铜矿床特征及控矿因素

斑岩型铜矿床分布范围广,在内蒙古、山西、河北、山东和河南省均有产出,以内蒙古与山西为主。该类型铜矿产于构造-岩浆强烈活动区域,成矿时代以古元古代、中生代为主,中生代印支期—燕山期为集中爆发期。代表性矿床有山西铜矿峪特大型铜钼金矿、内蒙古户沟铜钼矿、山东五莲七宝山铜矿等。

古元古代斑岩型铜矿床主要在山西省中条山区产出,大地构造位置处于华北克拉通中部带南缘,鄂尔多斯地块与河淮地块接合带的南端。区域出露的前寒武纪地层自下而上可划分为中太古界涑水杂岩、古元古界绛县群、中元古界中条群和担山石群、新元古界西阳河群和芮城群,再往上为下寒武统辛集组或馒头组覆盖。区内岩浆活动以绛县期为主,主要表现为酸性和基性岩浆的交替,最后以小型碱钙质岩浆的侵入而告终。铜矿床的形成与古元古代中条期变花岗闪长岩、变花岗闪长斑岩密切相关,矿体多呈矿群出现,形态主要为透镜状、不规则状、似层状,产状与接触带一致,矿石矿物组合有黄铁矿—黄铜矿,黄铁矿—黄铜矿—辉钼矿,黄铁矿—黄铜矿—辉钴矿。

表 2 华北地区不同预测类型铜矿床的时空演化						
Table 2 Temporal and spatial evolution of different prediction copper deposit in the North China						
所在省份	成矿时代	矿床类型	矿产预测类型	典型矿床	测年方法	成矿时代
河北	中生代	斑岩型	小寺沟式斑岩型铜钼矿	小寺沟铜钼矿	全岩 K-Ar	122.83 Ma±2.46 Ma ^[19]
山东		热液型	福山王家庄式热液交代型铜矿	福山王家庄	辉钼矿 Re-Os	127.8 Ma±0.7 Ma ^[20]
山东		接触交代型	铜井式接触交代型铜(金)矿	铜井铜(金)矿	锆石 SHRIMP U-Pb	128.6 Ma±3.6 Ma ^[21]
河北		矽卡岩型	寿王坟式矽卡岩型铜钼矿	寿王坟铜钼矿	锆石 U-Pb	128 Ma±1 Ma ^[22]
山西		矽卡岩型	刁泉式矽卡岩型铜矿	灵丘县刁泉铜银矿	辉钼矿 Re-Os	132.01 Ma±0.85 Ma ^[23]
内蒙古		热液型	道伦达坝式热液型铜矿	道伦达坝铜钨锡矿	锆石 U-Pb	135 Ma±1 Ma ^[24]
内蒙古		斑岩型	秋树湾式斑岩型铜矿	镇平县秋树湾铜(钼)矿	辉钼矿 Re-Os	146.42 Ma±1.77 Ma ^[25]
内蒙古		火山-次火山岩型	奥尤特式次火山热液型铜矿	奥尤特铜矿	石英 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	187.11 Ma±3.50 Ma ^[26]
山西		斑岩型	南泥湖式斑岩型铜钼矿	繁峙县后峪铜钼矿(区)		燕山期—印支期, 173 Ma—225 Ma
内蒙古		斑岩型	车户沟式斑岩型铜钼矿	车户沟铜钼矿	锆石 U-Pb	250.2 Ma±7.2 Ma ^[27]
内蒙古	古生代	接触交代型	盖沙图矽卡岩型铜矿	盖沙图铜矿		P
内蒙古		火山-次火山岩型	小坝梁式火山岩型铜矿	小坝梁铜矿	全岩 Rb-Sr	243 Ma±15 Ma ^[28]
内蒙古		与超基性岩有关的铜镍硫化物型	小南山式岩浆型铜镍矿	小南山铜镍矿	锆石 U-Pb	272.7 Ma±2.9 Ma
内蒙古		热液型	欧布拉格式热液型铜矿	欧布拉格铜矿	石英 ⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar	264.26 Ma±0.46 Ma ^[30]
内蒙古		接触交代型	罕达盖式矽卡岩型铜多金属矿	罕达盖铜矿	锆石 U-Pb	308.8 Ma±0.46 Ma ^[31]
河南		火山-次火山岩型	刘山岩式海相火山岩型铜锌矿	桐柏县刘山岩铜锌矿		∈-O
内蒙古		海相火山岩型	白乃庙式沉积型铜多金属矿	白乃庙铜多金属矿	锆石 SHRIMP U-Pb	433.9 Ma±3.1 Ma ^[32]
内蒙古		与超基性岩有关的铜镍硫化物型	亚干式岩浆型铜镍钴矿	亚干铜镍钴矿	锆石 U-Pb	916 Ma±16 Ma ^[33]
内蒙古		海底喷流沉积-改造型	霍各乞式喷流沉积铜矿	霍各乞铜矿		Pt ₂
山西		与超基性岩有关的铜镍硫化物型	与变基性岩有关的铜矿	运城县桃花洞铜矿		Pt
山西	前寒武纪	海底喷流沉积-改造型	胡篦子式沉积变质型铜矿	篦子沟铜矿	辉钼矿 Re-Os	1522 Ma±180 Ma ^[34]
河南		海底喷流沉积-改造型	小沟式沉积变质型铜矿	济源市安坪铜矿、 济源市小沟铜矿		Pt ₁
山西		斑岩型	铜矿峪式变斑岩型铜矿	垣曲县铜矿峪铜矿	锆石 U-Pb	2149 Ma±4.3 Ma ^[35]
山东		与超基性岩有关的铜镍硫化物型	桃科式岩浆熔离型铜镍矿	泗水北孙徐		Ar ₃

中生代斑岩型铜矿床在区内广泛产出,受扬子克拉通与华北克拉通碰撞、古太平洋板块斜向俯冲欧亚板块影响,斑岩型铜矿床在华北地区主要分布于秦岭—大别造山带和中亚造山带的碰撞结合部位,多与钼矿共伴生,形成于火山岛弧带或活动大陆边缘环境,与中生代火山活动晚期岩浆活动关系密切。矿床受岩浆弧和活动大陆边缘深源岩浆高侵位的双重控制,并经历了多次的叠加改造作用,具有多期多源的特征。矿体一般产于潜火山岩或斑岩侵入体内,部分藏存于外接触带的围岩中,呈不规则状、脉状及透镜状产出。矿区锶初始值都较小(一般小于0.708), $\epsilon_{\text{Nd}}(t)$ 变化于+5.4~+8.8, $\epsilon_{\text{Sr}}(t)$ 变化于-15.9~+39.8,地球化学值投影于亏损地幔附近^[36-38]。 $\delta(^{18}\text{O}_{\text{K}})$ 介于 $-1.14 \times 10^{-3} \sim 1.79 \times 10^{-3}$; δD 介于 $-63.70 \times 10^{-3} \sim -56.50 \times 10^{-3}$; 矿石矿物 $\delta(^{34}\text{S})$ 介于 $-8.80 \times 10^{-3} \sim -0.41 \times 10^{-3}$,说明矿床成矿物质来源于地壳深部或上地幔,流体来源于岩浆,后期有大气降水混入^[39-40]。矿石矿物主要为黄铜矿、辉钼矿、黄铁矿、铜蓝、斑铜矿、黝铜矿、辉铜矿等。矿石具有明显的分带性,由蚀变中心向外从细粒浸染状为主逐渐过渡到细脉浸染状为主。围岩蚀变分带现象明显,以岩体为中心自内向外依次为钾化、绢英岩化、矽卡岩化、青磐岩化蚀变。矿石结构为不等粒结构、胶状结构、花岗变晶结构等,脉状、浸染状、块状构造。

(2) 沉积变质型铜矿床特征及控矿因素

该类矿床主要分布在河南古元古代嵩山陆内裂谷带、山西古元古代中条裂谷带以及内蒙古中元古代华北陆块北缘狼山—渣尔泰山裂谷带内,成矿时代以古元古代—中元古代为主。

嵩山陆内裂谷带铜矿主要分布于河南省济源地区,如小沟铜矿。矿体呈似层状、透镜状分布在银鱼沟群变质火山沉积岩系中,赋矿围岩和含矿岩石为石英角闪片岩及条带状石英黑云母片岩。

中条裂谷带胡篦式铜矿是我国沉积变质型铜矿的典型代表,矿床产于中条古元古代结合带—小秦岭—中条古元古代陆缘岛弧带滨海—浅海相碎屑岩—碳酸盐岩建造中,矿体赋存于中条群余元下组、篦子沟组和余家山组白云石大理岩与碳质片麻岩中,与地层产状一致^[41],受后期上玉坡S形短轴背斜叠加褶皱的影响,在褶皱构造的转轴端部位,矿体常规模度变大,品位变富,形成“马鞍形”矿体^[42],典型矿床有胡家峪、桐木沟、篦子沟、剪子岭、落家河铜矿床等。C、O同位素研究显示,研究区铜矿床 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$

值集中在 $-4.3 \times 10^{-3} \sim -0.2 \times 10^{-3}$,介于海相碳酸盐岩(近于0)和岩浆岩($-5 \times 10^{-3} \sim -8 \times 10^{-3}$)的 $\delta(^{13}\text{C}_{\text{PDB}})$ 值之间, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{PDB}})$ 值集中在 $-13 \times 10^{-3} \sim -18 \times 10^{-3}$,表明成矿流体中的C主要来自地幔和海相碳酸盐岩(海水),可能有岩浆C的加入^[43]。

华北陆块北缘狼山—渣尔泰山裂谷带含铜岩系为渣尔泰山群阿古鲁沟组碳质石英岩,呈似层状(板状)产出,以霍各乞铜多金属矿和炭窑口铜锌矿为代表。其中霍各乞铜多金属矿 $\delta(^{34}\text{S})$ 变化范围为 $3.1 \times 10^{-3} \sim 23.5 \times 10^{-3}$,集中在 $8 \times 10^{-3} \sim 20 \times 10^{-3}$,变化较大,以火山硫为主;矿石矿物(石英、磁黄铁矿)包裹体组分类型为Na-Ca-F,Na-Ca-Cl型。条带状矿石分析结果显示, $\text{F}^- > \text{Cl}^-$ 、 $\text{SO}_4^{2-}/\text{Cl}^-$ 值较大,说明成矿流体来自地下深处。铅同位素位于上地幔和造山带Pb演化曲线之间、克拉通化地壳Pb边部^[44]。矿石中有用元素主要有铜、铅、锌,可综合利用银、铁、硫。金属矿物主要有黄铜矿、方铅矿、铁闪锌矿、磁黄铁矿、黄铁矿、磁铁矿。

(3) 火山沉积型铜矿床特征及控矿因素

该类矿床包括陆相火山岩型与海相火山岩型。陆相火山岩型铜矿主要分布在内蒙古、河北、山东也有零星出露。铜矿的产出受元古代裂谷构造和中生代火山盆地控制,依据成矿条件可将研究区陆相火山岩型铜矿划分为变质火山岩型铜矿和火山热液型铜矿。成矿温度介于 $130 \sim 200^\circ\text{C}$ 之间, $\delta(^{34}\text{S})$ 值平均 3.16×10^{-3} ,表明成矿物质来源于地壳深部,为陆相中低温火山热液矿床^[45-51]。

海相火山岩型铜矿以内蒙古产出为主,河南零星产出。前者主要分布在天山—兴蒙造山系中的温都尔庙弧盆系和大兴安岭弧盆系,代表性矿床为白乃庙海相火山岩型铜矿床和小坝梁铜金矿。白乃庙铜矿床位于包尔汉图—温都尔庙俯冲增生杂岩带上,赋矿围岩为新元古界白乃庙组岛弧火山—沉积岩系,矿石中方铅矿和黄铁矿的铅同位素组成变化范围小, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=17.854 \sim 18.882$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=15.519 \sim 15.794$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}=38.155 \sim 39.063$,源于壳幔混合区,矿石中黄铁矿、黄铜矿、辉钼矿、方铅矿和闪锌矿的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值一般为 $-5.3 \times 10^{-3} \sim +1.9 \times 10^{-3}$,均值 -2.7×10^{-3} ,总体变化范围较窄,并具明显的塔式分布,与岩浆热液矿床的硫同位素特点有很多相似之处,显示出深源的岩浆热液特点;小坝梁铜金矿形成于晚古生代,与古生代岛弧火山岩关系密切。硫化物的硫同位素均为正值,且变化范围较窄, $\delta(^{34}\text{S})=0.83 \times 10^{-3} \sim +3.90 \times 10^{-3}$,平均值

为 1.96×10^{-3} , 十分接近现代海底热液系统中硫化物的 $\delta(^{34}\text{S})$ 值 $2.5 \times 10^{-3} \sim 5.6 \times 10^{-3}$, 明显比洋中脊玄武岩中硫化物 $0 \times 10^{-3} \sim 0.5 \times 10^{-3}$ 富含重硫; $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 $17.531 \sim 17.718$, 均值为 17.637 , 极差为 0.106 ; $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 $15.389 \sim 15.580$, 均值为 15.484 , 极差为 0.096 ; $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 变化于 $37.094 \sim 37.517$, 均值为 37.327 , 极差为 0.233 , 总体显示出壳幔混合铅的特征, 在一定程度上受到海水的影响。河南省海相火山岩型铜矿主要分布在早古生代二郎坪弧后盆地, 代表性矿床为刘山岩铜矿。含矿岩系为二郎坪群上部的细碧-角斑岩建造, 铜锌矿体呈多层的似层状产出, 在单个成矿纹层中铜居底部并趋向一端富集。

(4) 接触交代型铜矿床特征及控矿因素

该类型矿床在山西、河南、内蒙古、北京和山东等省均有分布。矿床多产于古生代、中生代中-酸性中浅成侵入岩和碳酸盐或火山-沉积岩系围岩形成的蚀变带中。其中, 矽卡岩型铜矿是河南省主要的矿床类型, 成矿规模大, 资源储量高, 已探明储量占该省主要铜矿的 $2/3$ [52]。

古生代接触交代型铜矿床主要分布在内蒙古二连浩特-东乌旗成矿带和狼山-渣尔泰裂谷带西段。华力西期古亚洲洋的闭合, 引起了强烈的构造-岩浆活动, 石英二长岩、花岗闪长岩等侵入岩在构造带侵位碳酸盐岩地层, 并与之发生接触交代, 在岩体与围岩接触部位形成矽卡岩型矿体。该时期矿床成矿物质以铁、铜多金属为主, 矿区内断裂、裂隙发育, NE 向断裂控制了矿体的产出及空间分布, 为含矿热液提供了良好的储矿环境。矿体形态相对复杂, 不规则囊状、透镜状较为常见, 矿石矿物有磁铁矿、黄铜矿、黄铁矿、磁黄铁矿、闪锌矿等, 呈半自形粒状结构、碎裂结构、交代残留结构, 块状、浸染状、细脉状、细脉浸染状构造。围岩蚀变发育, 可见有矽卡岩化、绿泥石化、绿帘石化、绢云母化、硅化等。

中生代矽卡岩型铜矿床在华北地区广泛发育, 该时期华北克拉通与扬子克拉通的陆陆碰撞、古太平洋板块向欧亚板块的斜向俯冲为华北地区矽卡岩型铜矿提供了丰富的成矿物质和成矿动力学环境。在秦岭成矿带, 古元古界秦岭岩群雁岭沟岩组大理岩, 以及岩体接触交代形成的矽卡岩与铜钼矿化关系密切。在中生代小秦岭-伏牛山陆内碰撞造山环境下, 沿朱夏深大断裂向北的陆内俯冲, 含矿岩浆熔体沿构造薄弱位置上侵, 与雁岭沟组大理岩发生热液蚀变, 形成斑岩型-矽卡岩铜钼矿床。此类矿床以

镇平秋树湾斑岩-矽卡岩型铜钼矿为典型代表。秋树湾矿床位于北秦岭基底杂岩构造单元内, 区域性的商丹断裂和朱夏深大断裂北侧; 矿区北侧的秋树湾斑岩岩株为秋树湾矿床的成矿母岩, 岩体中辉钼矿 Re-Os 法同位素年龄为 $146.42 \text{ Ma} \pm 1.77 \text{ Ma}$ [53], $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 初始比为 0.79495 , $\delta(^{18}\text{O})$ 值为 $9.52 \times 10^{-3} \sim 9.66 \times 10^{-3}$, 表明物质来源为下地壳 [54]; 矿体多呈似层状、透镜状围绕秋树湾岩体外接触带 $0 \sim 900 \text{ m}$ 范围内呈不规则的环状分布, 少数分布于岩体内接触带, 分枝复合、膨胀夹缩现象普遍。杨荣勇 [55] 测得成矿期 $\delta(^{18}\text{O})$ 值为 $9.5 \times 10^{-3} \sim 10.8 \times 10^{-3}$, 平均值为 10.2×10^{-3} , 表明其成矿物质来源较深、成矿中以岩浆水为主; 硫同位素值 $\delta(^{34}\text{S})$ 值为 $0.97 \times 10^{-3} \sim 7.73 \times 10^{-3}$, 平均值为 3.66×10^{-3} , 表明铜矿化硫源以深源硫为主; 矿石 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $17.473 \sim 18.383$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $15.413 \sim 15.478$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 值为 $37.528 \sim 37.74$, 表明铅源为深源铅或岩浆源 [56]。

华北地区东部矽卡岩型铜矿床主要分布在鲁西地区的沂南铜井-金厂、莱芜铁铜沟、苍山龙宝山及鲁东地区的孔辛头、冶头和荣成乔北等地, 矿床规模一般较小, 其中以沂南铜井-金厂地区铜金矿床为代表 [15]。前寒武纪花岗绿岩体为矿源层, 与矿体共生的磁铁矿的 $\delta(^{18}\text{O})$ 值为 $1.3 \times 10^{-3} \sim 4.3 \times 10^{-3}$, $\delta(^{18}\text{O}_{\text{水}})$ 值为 $8.0 \times 10^{-3} \sim 10.8 \times 10^{-3}$, 表明主矿化阶段成矿热液主要为岩浆热液, 黄铁矿硫同位素 $\delta(^{34}\text{S})$ 值在 $2.1 \times 10^{-3} \sim 5.9 \times 10^{-3}$ 之间, $\delta(^{32}\text{S})/\delta(^{34}\text{S})$ 值为 $22.097 \sim 22.174$, 可判断铜井铜金矿的硫来源于上地幔 [57-61]。铜井金矿床锆石 SHRIMP U-Pb 年龄 $128.6 \text{ Ma} \pm 3.6 \text{ Ma}$ 代表了燕山晚期岩浆结晶的年龄 [21], 也可认为是该矿床的成矿年龄; $\delta(^{34}\text{S})$ 值介于 $0.97 \times 10^{-3} \sim 7.73 \times 10^{-3}$ 之间, 黄铜矿、黄铁矿等矿石矿物形成温度介于 $150 \sim 350^\circ\text{C}$ 之间, 表明成矿物质来源于幔源, 形成于中、低温阶段 [62-64]。

(5) 热液型铜矿床特征及控矿因素

该类矿床在内蒙古、河北、山东和山西等省均有产出, 但规模多以中小型为主; 受不同时代侵入岩 (花岗岩) 和断裂构造控制, 成矿时代主要为燕山期, 少量为华力西期和印支期。矿体主要赋存于岩体与围岩的接触带附近, 呈等轴状、豆荚状产出, 延伸较短。断裂带内矿体呈似层状、透镜状产出, 延伸较长, 膨胀夹缩、尖灭再现现象明显。主要矿物组合为黄铁矿、黄铜矿、辉铜矿、斑铜矿。矿石结构以交代

结构、固溶体分离结构为主。矿石构造以细脉浸染状为主,次为浸染状、细网脉状、条带状,呈现交代、充填的特征。山东福山王家庄铜矿床为该类型的代表性矿床。

(6) 岩浆型铜矿床特征及控矿因素

该类型矿床在内蒙古、河北、山东和山西等省有产出,但规模较小,储量有限,成矿时代主要为新太古代、元古代及华力西期。矿体主要呈脉状、透镜状产出,长短不一,大小不等,延深受岩体控制。围岩与矿体多呈渐变关系,少数产于裂隙者界限清楚。蚀变主要发育次闪石化、绿泥石化、钠帘石化、绢云母化。矿石结构主要为交代结构、他形粒状结构、假象交代结构和残晶结构。矿石构造以细脉浸染状、浸染状为主,次为斑点状、网脉状、块状及角砾状。典型矿床有山东泗水北孙徐铜矿、山西省运城县桃花洞铜矿等。

4 构造演化与找矿远景

4.1 构造演化

华北地区地处古亚洲成矿域及滨太平洋成矿域范围内,成矿地质条件优越。自太古宙至新生代,研究区经历了多期次构造-岩浆活动,为成矿提供了充足的动力学环境和丰富的物质来源。新太古代,强烈的海陆碰撞作用,促使华北克拉通的陆壳巨量生长,并在大陆边缘形成桃科、孙徐为代表的铜镍硫化物矿床。在 2.3 Ga—1.95 Ga 期间^[65],刚性地壳逐渐形成,并伴有基底拉张-破裂作用发生,其后的吕梁运动,导致裂谷封闭^[66],并先后形成了北孙徐铜矿、小沟铜矿、安坪铜矿。中元古代早期,由于地幔的隆升,陆缘裂陷或陆内裂解,火山喷发强烈,在华北克拉通先后形成了白云鄂博-渣尔泰山裂谷带、燕辽裂谷带、晋豫裂谷带和徐淮裂谷带,并形成了胡家峪、篦子沟、霍格乞等大型-超大型海底喷流沉积-改造型铜矿床和铜矿峪式斑岩型铜床^[67],成矿时代集中于 1.6 Ga—2.1 Ga。

进入显生宙后,板块构造成为地球支配性构造,在物质演化上出现与洋陆相互作用有关的一系列矿床。华北北部地区作为全球最大规模的增生型造山带和显生宙大陆地壳生长最为显著的地区,中亚造山带的多块体拼合、多缝合带镶嵌、山盆耦合的大地构造格局,使其碰撞造山和成矿作用具有多岛海特征^[68-70]。中亚成矿域既发育增生造山阶段的弧环

境相关矿床(蛇绿岩型铬铁矿、斑岩型铜矿、VMS 型铜矿),也发育与碰撞造山(造山型金矿、石棉、滑石)和后碰撞陆内岩石圈伸展相关的大陆环境矿床(岩浆铜镍矿、斑岩铜铅矿、热液金矿、砂岩铀矿等)^[71-76]。由于华北地区属于中亚成矿域的一部分,多期次的构造岩浆活动,有利于岩浆型、火山型、热液型以及矽卡岩型铜矿的形成,其中,受早古生代大洋板块俯冲影响,在中蒙边界中东段形成一系列岛弧型岩浆岩,加里东期成矿以斑岩型为主,如白乃庙斑岩型铜矿;进入华力西期后,西伯利亚板块与华北板块沿伊林哈别尔尕—西拉木伦板块缝合带开始拼接,在两大板块两缘形成众多华力西期陆缘增生带,强烈的构造-岩浆活动形成了众多的铜矿床,如石炭纪查干哈达庙火山喷流沉积型铜矿、罕达盖接触交代型铁铜矿、二叠纪岩浆型小南山铜镍矿、早二叠世准苏吉花斑岩型铜矿床等。

秦岭成矿带位于扬子和华北克拉通之间,自寒武纪以来一直处于大陆边缘的海相环境,印支期造山事件形成了现今的成矿带。铜矿床的产出受区域性栾川断裂带、马超营断裂带、朱阳关—夏馆断裂带和商丹缝合带控制^[77],形成秋树湾、对角沟、板厂、断树崖等铜矿床,矿体产状多呈 NWW 向或 NW 向产出,与中酸性岩浆岩关系密切,成矿时代以燕山期为主^[52]。

印支运动后,由于古太平洋板块向欧亚大陆俯冲,在中国东部发育大面积的燕山期花岗岩,形成了众多的断陷/拗陷盆地。华北地区作为欧亚大陆的东南缘,受太平洋板块俯冲作用影响最为显著,区内构造-岩浆-火山活动强烈。中侏罗—早白垩世,区内地壳增厚,岩石圈拆沉,幔源岩浆上涌,强烈的壳幔相互作用为铜成矿提供了充足的物质来源,伴随着大规模的火山-岩浆活动,形成了广泛而强烈的铜成矿作用,北至内蒙古乌奴格吐山斑岩型铜矿,南至河北省小寺沟铜铅矿、山东省福山王家庄热液型铜矿床、香介斑岩型铜矿、沂南铜井矽卡岩型铜矿均形成于太平洋板块的构造环境中,是华北地区铜矿床的成矿爆发期。

4.2 找矿方向及远景

我国铜矿资源短缺,为缓解当前现代化建设过程中铜矿资源供需矛盾,需瞄准国内、国际两个市场,要立足国内,发展境外;加强成矿理论与勘查技术研究,以国内重要铜矿带和典型矿床为基础,加强铜矿调查评价和深部资源勘查力度,提升资源保障程度。

华北地区横跨古亚洲成矿域、秦祁昆成矿域、滨太平洋成矿域三大成矿域,铜矿床、矿点多且分布广,成因类型多样,具备良好的成矿条件和找矿前景。根据华北地区矿产资源潜力评价,全区划分铜矿找矿远景区28处^[78-79],为区内铜矿资源勘查提供找矿方向。

随着勘查技术水平的不断提升,深部找矿成为实现找矿突破的重要手段。目前,地质、物探、化探、钻探、三维地质建模等方法手段的综合运用已经成功应用在深部勘查工作中,并取得了良好的找矿效果^[80]。华北地区铜矿以斑岩型、接触交代型、喷流沉积-沉积改造型为主,矿床开采深度较浅,深部资源潜力巨大。当前的铜矿勘查、开采工作,主要集中在浅于1 000 m的地段,对1 000~3 000 m的深度尚未触及。因此,运用现代综合找矿方法,加大该区深部资源勘查力度,在重要成矿带、典型矿床开展铜矿深部勘查,建立三维预测模型,将可极大地提高工作区铜矿资源储量,提升我国铜矿资源保障力度。

5 结论

(1)通过对华北地区579处铜矿床地质资料的系统分析,总结矿床类型,提出不同类型铜矿时空分布特征和控矿因素;建立了7种预测类型划分方案和6种预测方法。

(2)华北地区铜矿床可划分出四大成矿期:古元古代、中新元古代、石炭纪—二叠纪和侏罗纪—白垩纪。不同时期铜矿成矿类型不同,侏罗纪—白垩纪为最主要的成矿时期,以斑岩型、接触交代型为主。

(3)经讨论华北地区铜矿床的时空演化特征认为,在重要成矿带和典型矿床开展深部资源勘查是实现该区铜矿床找矿突破的重要途径。

注释:

- ① 李俊建. 华北地区重要矿种区域成矿规律研究成果报告[R]. 天津:天津地质调查中心, 2013: 1-742.
- ② 周继华, 赵增杰, 李亮玉, 等. 山西省重要矿种区域成矿规律、矿产预测成果报告[R]. 太原:山西省地质调查院, 2013: 1-489.
- ③ 许立权, 张彤, 张明, 等. 内蒙古自治区重要矿产区域成矿规律研究报告[R]. 呼和浩特:内蒙古自治区地质调查院, 2013: 1-654.

参考文献:

- [1] 全国矿产资源规划(2016—2020). 自然资源部网站, 2016. (http://www.mnr.gov.cn/gk/gjhj/201811/t20181101_2324927.html)
- [2] Mao J W, Pirajno F. Mesozoic molybdenum deposits in the east Qinling-Dabie orogenic belt: characteristics and tectonic settings [J]. Ore Geol Rev, 2011, 43: 264-293.
- [3] Mao J W, Xie G Q, Bierlein F, et al. Tectonic implications from Re-Os dating of Mesozoic molybdenum deposits in the East Qinling-Dabie orogenic belt [J]. Geochim Cosmochim Acta, 2008, 72: 4607-4626.
- [4] Mao J W, Xie G Q, Duan C, et al. A tectono-genetic model for porphyry-skarn-stratabound Cu-Au-Mo-Fe and magnetite-apatite deposits along the Middle-Lower Yangtze River Valley, Eastern China [J]. Ore Geol Rev, 2011, 43: 294-314.
- [5] Shu Q H, Lai Y, Wang C, et al. Geochronology, geochemistry and Sr-Nd-Hf isotopes of the Haisugou porphyry Mo deposit, northeast China, and their geological significance [J]. J Asian Earth Sci, 2014, 79: 777-791.
- [6] 王智, 王惠初, 施建荣, 等. 内蒙古集宁区地区徐武家变质辉长岩的形成背景及其地质意义[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(2): 97-113.
- [7] 张家辉, 王惠初, 郭敬辉, 等. 华北克拉通怀安杂岩中~2.03 Ga 变质石榴花岗岩的成因其对元古代裂谷事件的制约[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(2): 114-126.
- [8] 李怀坤, 张健, 田辉, 等. 华北克拉通北缘燕辽裂陷槽中-新元古代地层年代学研究进展[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(2): 127-136.
- [9] 相振群, 陆松年, 李怀坤, 等. 华北克拉通中元古代岩浆事件群[J]. 地质调查与研究, 2020, 43(2): 137-152.
- [10] 张天平, 牛兴国, 宋俊威, 等. 内蒙古扎拉格阿木铜多金属矿地球化学、地球物理特征与找矿预测[J]. 矿产勘查, 2018, 9(6): 1258-1265.
- [11] 张智慧, 邓军, 秦明, 等. 河南内乡板厂铜多金属硫化物矿床地质特征及成因分析[J]. 矿产与地质, 2013, 27(2): 89-95.
- [12] 申志超, 侯增谦, 陈志宽, 等. 河北木吉村斑岩铜矿辉钼矿 Re-Os 定年、成矿斑岩锆石 U-Pb 定年和 Hf 同位素组成研究[J]. 岩石矿物学杂志, 2015, 34(4): 526-538.
- [13] 卢文姬, 孔祥超, 蓝信杰, 等. 山东栖霞香炉矿床深部地球化学成矿机理[J]. 地质与勘探, 2016, 52(6): 1095-1106.
- [14] 国土资源部. 全国矿产资源储量通报[R], 2016.
- [15] 王奎峰, 李文平, 杨德平, 等. 山东省铜矿床类型、时空分布、典型矿床特征及成矿远景[J]. 地质学报, 2013, 87(4): 565-576.
- [16] 王登红, 陈毓川, 徐志刚, 等. 矿产预测类型及其在矿产资源潜力评价中的运用[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2013, 43(4): 1092-1099.
- [17] 叶天竺. 矿床模型综合地质信息预测技术方法理论框架[J]. 吉林大学学报:地球科学版, 2013, 43(4): 1053-1072.
- [18] 陈毓川, 王登红, 李厚民. 重要矿产预测类型划分方案[M]. 北京:地质出版社, 2010: 1-222.

- [19] 戴雪灵, 彭省临, 胡祥昭. 河北小寺沟铜矿埃达克岩: 年龄、地球化学特征及其地质意义[J]. 矿床地质, 2010, 29(3): 517-528.
- [20] Wang H, Fu B, Xu Z W, et al. Geology, geochemistry, and geochronology of the Wangjiazhuang porphyry-breccia Cu(-Mo) deposit in the Zouping volcanic basin, eastern North China Block [J]. Ore Geology Reviews, 2015, 37: 336-353.
- [21] 李洪奎, 耿科, 李逸凡, 等. 沂南县铜井金矿床锆石 SHRIMP U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2011, 30(3): 497-503.
- [22] 董朋生, 董国臣, 孙转荣, 等. 燕山地区寿王坟杂岩体锆石 U-Pb 年代学、Hf 同位素和地球化学特征及其地质意义[J]. 地质前缘, 2018(6): 264-276.
- [23] 牛翠伟, 卿敏, 唐明国, 等. 山西刁泉银铜多金属矿床辉钼矿 Re-Os 同位素年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2013, 30(5): 972-978.
- [24] 陈公正, 武广, 李铁刚, 等. 内蒙古道伦达坝铜钨锡矿床 LA-ICP-MS 锆石和锡石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 矿床地质, 2018, 37(2): 225-245.
- [25] 郭保健, 毛景文, 李厚民, 等. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2016, 22(9): 2341-2348.
- [26] 李俊建, 赵泽霖, 党智财, 等. 内蒙古东乌旗奥尤特铜矿床的成矿时代[J]. 地质通报, 2016, 35(4): 537-541.
- [27] 孟树, 闫聪, 赖勇, 等. 内蒙古车户沟铜矿成矿年代学及成矿流体特征研究[J]. 岩石学报, 2013, 29(1): 255-269.
- [28] 陈德潜, 赵平, 魏振国. 论小坝铜矿床的海底火山热液成因[J]. 地球学报, 1995, 16(2): 190-203.
- [29] 党智财, 李俊建, 赵泽霖, 等. 内蒙古四子王旗地区小南山辉长岩 LA-ICP-MS 锆石 U-Pb 年龄及其地质意义[J]. 地质通报, 2016, 35(4): 583-592.
- [30] 李俊建, 翟裕生, 桑海清, 等. 内蒙古阿拉善欧布拉格铜-金矿床的成矿时代[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2010, 29(4): 323-327.
- [31] 巩智镇, 贺斐, 张子珍. 内蒙古新巴尔虎左旗罕达盖铁铜矿床地质特征及找矿标志[J]. 西部资源, 2014(3): 121-126.
- [32] 李俊建, 党智财, 赵泽霖, 等. 内蒙古白乃庙铜矿床成矿时代的研究[J]. 地质学报, 2015, 89(8): 1448-1457.
- [33] 王涛, 郑亚东, Gehrels G E, 等. 南蒙古大陆存在的年代学证据: 亚干-翁奇海杂岩核杂岩花岗岩片麻岩的锆石 U-Pb 年龄[J]. 科学通报, 2001, 46(14): 1220-1223.
- [34] 耿艳光, 简伟, 李洪英, 等. 中条山篦子沟铜矿辉钼矿铼-钨同位素年龄及其地质意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2017, 47(5): 1405-1418.
- [35] 许庆林, 孙丰月, 张晗, 等. 山西中条山铜矿峪铜矿流体包裹体、锆石 U-Pb 年龄、Hf 同位素及其地质意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2012(S3): 64-80.
- [36] 秦克章, 李惠民, 李伟实. 内蒙古乌努格吐山斑岩铜钼矿床的成岩、成矿时代[J]. 地质论评, 1999, 45(2): 180-185.
- [37] 芮宗瑶, 刘玉琳, 王龙生, 等. 新疆东天山斑岩型铜矿带及其大地构造格局[J]. 地质学报, 2002, 76(1): 83-94.
- [38] 芮宗瑶, 张洪涛, 陈仁义, 等. 斑岩铜矿研究中若干问题探讨[J]. 矿床地质, 2006, 25(4): 491-500.
- [39] 张军, 徐兆文, 李海勇, 等. 邹平王家庄铜矿床成矿地球化学及成因探讨[J]. 地质论评, 2008, 54(4): 466-476.
- [40] 张军, 徐兆文, 李海勇, 等. 山东邹平王家庄铜矿含矿岩体地球化学及成因探讨[J]. 南京大学学报: 自然科学版, 2008, 44(6): 632-641.
- [41] 赵永瑞. 试论中条山胡篦型铜矿床喷流成因[J]. 桂林理工大学学报, 2006, 26(3): 310-319.
- [42] 庞雪娇. 山西中条山南和沟、老宝滩铜矿床矿化富集规律及矿床成因探讨[D]. 长春: 吉林大学, 2010.
- [43] 黄维平, 孙丰月, 张晗, 等. 山西中条山胡篦型铜矿床岩石地球化学特征[J]. 世界地质, 2013, 32(2): 212-220.
- [44] 刘玉堂, 李维杰. 内蒙古霍各乞铜多金属矿床含矿建造及矿床成因[J]. 桂林工学院学报, 2004, 24(3): 261-268.
- [45] 王永, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 山东五莲七宝山 Cu-Au 矿床成矿流体特征及成矿作用[J]. 岩石学报, 2008, 24(9): 2029-2036.
- [46] 王郁. 山东七宝山金矿床地质特征及成因探讨[J]. 地质论评, 1991, 87(4): 329-337.
- [47] 邱检生, 王德滋, 任启江, 等. 山东五莲七宝山金矿床成矿物理化学条件及矿床成因[J]. 矿产与地质, 1994, 8(1): 12-18.
- [48] 张连营, 程敏清. 山东五莲七宝山金铜矿床地球化学特征及成因分析[J]. 地质找矿论丛, 1996, 11(1): 18-24.
- [49] Xu X W, Cai X P, Qin D J, et al. Fluids double-fracturing genetic mechanism and mineralization of gold-copper of the breccia pipe at Qibaoshan in Shandong Province [J]. Science in China(Earth Sciences), 2000, 43(2): 113-121.
- [50] 田乃风, 张帆, 高宗军, 等. 山东五莲七宝山铜及多金属矿床成矿地质特征及找矿方向[J]. 山东地质, 2011(4): 8-11.
- [51] 田乃风, 张帆. 山东五莲七宝山铜及多金属矿床成矿地质特征浅析[J]. 山东煤炭科技, 2011(4): 126-127.
- [52] 王卫. 河南省铜矿成矿规律与找矿前景[J]. 科技通报, 2012, 28(12): 15-17.
- [53] 郭保健, 毛景文, 李厚民, 等. 秦岭造山带秋树湾铜钼矿床辉钼矿 Re-Os 定年及其地质意义[J]. 岩石学报, 2006, 22(9): 2341-2348.
- [54] 任启江, 王德滋, 徐兆文, 等. 安徽庐枞火山—构造洼地的形成、演化及成矿[J]. 地质学报, 1993, 67(2): 131-145.
- [55] 杨荣勇, 任启江, 徐兆文, 等. 安徽庐枞地区巴家滩火山—侵入体的岩浆来源[J]. 地球化学, 1993(2): 197-206.
- [56] 朱华平. 河南秋树湾角砾岩型铜(钼)矿地球化学特征[J]. 有色金属矿产与勘查, 1998, 7(4): 228-233.
- [57] 邱检生, 王德滋, 任启江. 山东沂南金场砂卡岩型金铜矿床地质地球化学特征及矿床成因[J]. 矿床地质, 1996, 15(4): 330-340.
- [58] 刘涛, 郭怀兴, 刘帮君, 等. 山东铜井岩体稀土元素特征及矿源研究[J]. 科技资讯, 2008(20): 132-133.
- [59] 胡芳芳, 王永, 范宏瑞, 等. 鲁西沂南金场夕卡岩型金铜矿

- 床矿化时代与成矿流体研究[J]. 岩石学报, 2010, 26(5): 1503-1511.
- [60] 王永. 鲁西南地区晚中生代岩浆活动与金铜矿成矿作用[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2010.
- [61] 王永, 范宏瑞, 胡芳芳, 等. 鲁西沂南铜井闪长质岩体锆石 U-Pb 年龄、元素及同位素地球化学特征[J]. 岩石矿物学杂志, 2011, 30(4): 553-566.
- [62] 张智慧, 秦明, 方荣, 等. 河南镇平秋树湾矿区铜、钼矿床地质特征及深部找矿潜力分析[J]. 矿产与地质, 2008, 22(2): 107-110.
- [63] 国兴伟, 张洪波, 高鹏为, 等. 沂南金矿矽卡岩型多金属矿床成矿规律及深部找矿预测[J]. 黄金科学技术, 2010, 18(5): 31-33.
- [64] 董树义. 山东沂南金矿床成因与成矿规律和成矿预测[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2008: 1-180.
- [65] 翟明国, 彭澎. 华北克拉通古元古代构造事件[J]. 岩石学报, 2007, 23(11): 2665-2682.
- [66] 杨崇辉, 杜利林, 任留东, 等. 河北赞皇地区许亭花岗岩的时代及成因: 对华北克拉通中部带构造演化的制约[J]. 岩石学报, 2011, 27(4): 1003-1016.
- [67] 李洪英, 骆文娟, 孙军刚, 等. 山西中条山铜矿峪斑岩型铜矿床成矿流体特征[J]. 矿床地质, 2018, 37(5): 1091-1110.
- [68] 秦克章, 翟明国, 李光明, 等. 中国陆壳演化、多块体拼合造山与特色成矿的关系[J]. 岩石学报, 2017, 33(2): 305-325.
- [69] 肖序常, 汤耀庆, 冯益民, 等. 新疆北部及其邻区大地构造[M]. 北京: 地质出版社, 1992: 1-169.
- [70] 李继亮, 孙枢, 郝杰, 等. 论碰撞造山带的分类[J]. 地质科学, 1999, 34(2): 129-138.
- [71] 秦克章, 孙枢, 陈海泓, 等. 新疆北部金属矿床时空分布格局—古生代多岛海型碰撞造山带的标志[M]//陈海泓. 中国碰撞造山带研究, 北京: 海洋出版社, 1999: 183-196.
- [72] Wang J B, Deng J N, Zhang J H, et al. Massive Sulphide Deposits Related to the Volcano-Passive Continental Margin in the Altay Region [J]. Acta Geologica Sinica (English Edition), 1999, 73(3): 253-263.
- [73] 秦克章. 新疆北部中亚型造山与成矿作用[D]. 北京: 中国科学院地质与地球物理研究所, 2000: 1-195.
- [74] Qin K Z, Sun S, Li J L, et al. Paleozoic Epithermal Au and Porphyry Cu Deposits in North Xinjiang, China: Epochs, Features, Tectonic Linkage and Exploration Significance [J]. Resource Geology, 2002, 52(4): 291-300.
- [75] Qin K Z, Zhang L C, Xiao W J, et al. Overview of major Au, Cu, Ni and Fe deposits and metallogenic evolution of the eastern Tianshan Mountains, northwestern China [M]//Mao J W, Goldfarb R J, Seltmann R (eds.). Tectonic Evolution and Metallogeny of the Chinese Altay and Tianshan. London: Natural History Museum of Landon, IA GOD Guidebook Series, 2003, 10: 227-249.
- [76] Qin K Z, Su B X, Sakyi P A, et al. SIMS zircon U-Pb geochronology and Sr-Nd isotopes of Ni-Cu-bearing mafic-ultramafic intrusions in eastern Tianshan and Beishan in correlation with flood basalts in Tarim basin (NW China): Constraints on a ca. 280 Ma mantle plume [J]. American Journal of Science, 2011, 311(3): 237-260.
- [77] 河南省国土资源厅, 河南省矿业协会. 河南省矿业概要[M]. 郑州: 河南人民出版社, 2009.
- [78] 任树祥, 张德生, 宋立军. 河北省区域成矿规律研究[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2015: 1-206.
- [79] 彭翼, 何玉良. 河南省区域成矿规律[M]. 武汉: 中国地质大学出版社, 2015: 1-341.
- [80] 于学峰, 杨德平, 李大鹏, 等. 胶东焦家金矿带 3000 m 深部成矿特征及其地质意义[J]. 岩石学报, 2019, 35(9): 2893-2910.

Resources Characteristics of Copper Deposits in North China and The Regional Metallogeny

TANG Wenlong^{1,2}, LI Junjian^{1,2}, PENG Yi³, SONG Lijun⁴, HOU Zhanguo⁵, ZHANG Tong⁶

(1. *Tianjin Center, China Geology Survey, Tianjin, 300170, China;*

2. *North China Center for Geoscience Innovation, Tianjin 300170, China;*

3. *Henan Institute of Geological Survey, Zhengzhou 450007, China;*

4. *Hebei Institute of Geological Survey, Shijiazhuang 050081, China;*

5. *Shanxi Institute of Geological Survey, Taiyuan 030006, China;*

6. *Inner Mongolia Institute of Geological Survey, Hohhot 010020, China)*

Abstract: North China is abundant with Copper resources. Based on the data of 579 copper ore deposits and occurrences, we summarized the copper deposits types and they are formed in three metallogenic epochs. The Jurassic-Cretaceous period is the the most important metallogenic epoch and the copper deposits are dominated by porphyry and skarn copper deposits. Spatial and temporal distribution and control factors for different copper deposits and 7 prediction types and 6 prediction methods are proposed. The spatial and temporal distribution evolution of the copper deposits is discussed and carrying out copper ore prospecting to depth of the known copper deposits is considered to be the key to make copper ore prospecting breakthrough in the North China.

Key Words: copper deposit; copper resources characteristics; copper deposit types; metallogenic law; potential of the copper resources; North China